

泥炭性軟弱地盤におけるダクタイル鑄鉄管の敷設後の挙動変化について

札幌開発建設部 岩見沢事務所 第2工事課 ○安田 大夢
岡田 裕太
金森 翔

主として泥炭で構成される地盤において農業用パイプラインを敷設する場合、経年的な地盤沈下の進行に伴い、管継手部の離脱や管体の破損に至ることが確認されている。

本稿では、近年、耐震性や地盤追従性に優れた継手など、用途に応じた開発が進められているダクタイル鑄鉄管を泥炭性軟弱地盤内に敷設し、農業用水の通水期を経た約一年間の挙動変化に関する観測結果を報告する。

キーワード：パイプライン、泥炭、沈下、新技術

1. はじめに

一級河川石狩川水系の本流である石狩川の中・下流部に広がる泥炭地は、先人らの弛まぬ努力などにより、排水性の悪い未墾地・原野から北海道内屈指の稲作地帯となり、生産される米の食味等は全国から極めて高い評価を得ている。

泥炭地は、枯死した植物の生化学分解が十分行われないうまま生成した有機質土から成ることから、多量の水分を含み、軟弱で、高い圧縮性を持つことで排水改良に伴う沈下が生じやすい。

このため、主として泥炭で構成される地盤において農業用パイプラインを敷設する場合、地下水位の変動に伴いながら経年的な地盤沈下が進行し、管継手部の離脱、破損に至ることが確認されている^{2) 3)}。

一方、農業用パイプラインの管種のひとつであるダクタイル鑄鉄管は、耐震性や地盤追従性に優れた継手など、用途に応じた開発が進められており、近年の国営造成施設復旧工事での鎖構造継手等の施工実績もある。

本稿では、泥炭性軟弱地盤で施工事例が少ないダクタイル鑄鉄管について、経年的な沈下への追従性を確認することを目的とした管の挙動観測について計測後約1年を経過した観測結果を報告する。

2. 地形・地質の概要

本調査の対象地区である国営農地再編整備事業「美唄茶志内地区」(以下、「美唄茶志内地区」という。)は、美唄市に位置し、石狩川左岸に広がる約1,570haの水田地帯である。地区の主要工事である区画整理は、傾斜区分1/1,000~1/100の田を対象とした低平地で事業を実施して

いる。また、美唄市の地質図幅(昭和40年 地質調査所)では、高位泥炭及び低位泥炭が広く現れており、昭和46年度調査実施の「地力保全基本調査成績書 空知中部地域(北海道道立中央農業試験場)を基本としつつ、現地踏査及び現地土壌断面調査を行ったところ、地区内の水田土壌では、泥炭由来の土壌が約7割を占めており(図-1)、調査対象施設が位置する美唄市開発町桜井の農地でも、表土以下、シルト質粘土層厚約1m、泥炭土層厚約5m、更にN値5未満の粘土やシルトの軟弱層厚が約10mであることを確認している。

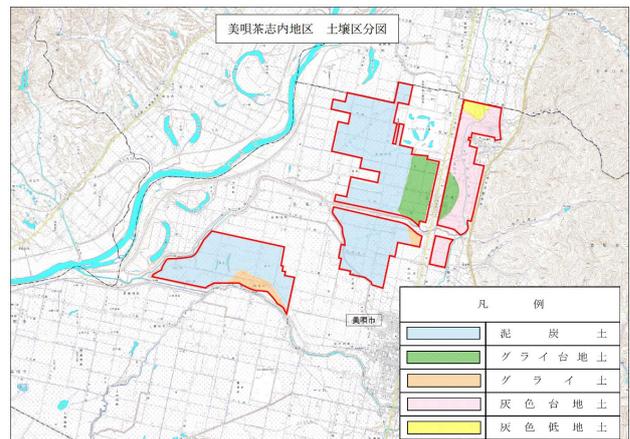


図-1 土壌区分図(美唄茶志内地区)

3. 調査の背景及び概要

(1) 調査の背景

美唄茶志内地区で造成する支線及び末端水路は、施工区域の土質条件や経済性を考慮して、口径φ500以下は全ての地盤条件でVU管(硬質ポリ塩化ビニル管)、φ600以上は普通地盤でFRPM管(強化プラスチック複合

管)、軟弱地盤・泥炭地盤ではPE管(高密度ポリエチレン管)として管種設定を行っている。

一方、令和4年度に軟弱・泥炭地盤条件で施工した桜井支線用水路(φ800)とその支線用水路の設計にあたっては、最新の他地区の事例収集や、資材メーカーからの聞き取り等を行い、検討することとした。この結果、①耐震用のNS形ダクタイル鋳鉄管及びNS形継輪(以下、「NS形」という。)には、大きな伸縮・屈曲性能や離脱防止機構を有し、不同沈下に対応可能であること、また、②NETIS(新技術情報提供システム)登録技術であるALW形ダクタイル鋳鉄管(以下、「ALW形」という。)は、設計基準に準じ、構造上安全となる範囲で管厚を最小化しており、NS形と組み合わせた配管を行っても、従来型(K、T形)のダクタイル鋳鉄管に対して管材料費の低減が図られていることを確認した。このことから、VP管、FRPM管及びPE管のほかに同管種を含めた比較検討を行い、想定沈下量に対する性能確認の上、資材費、施工費としての経済性にも優れたALW形及びNS形を予定施設管理者とも協議を行い選定した。

(2) 調査対象施設の概要

調査対象施設である桜井支線用水路は、農地の区画整理工事に伴う水掛の統合の後、新設変更を行うもので、北海幹線用水路(フルーム水路)から分岐している茶志内幹線(管水路)を起点とする延長L=0.7kmの配水系クローズドパイプラインである。最大通水量 $Q=0.886\text{m}^3/\text{s}$ (代かき期)、管径φ800、静水圧は最大0.16MPaである(図-2)。

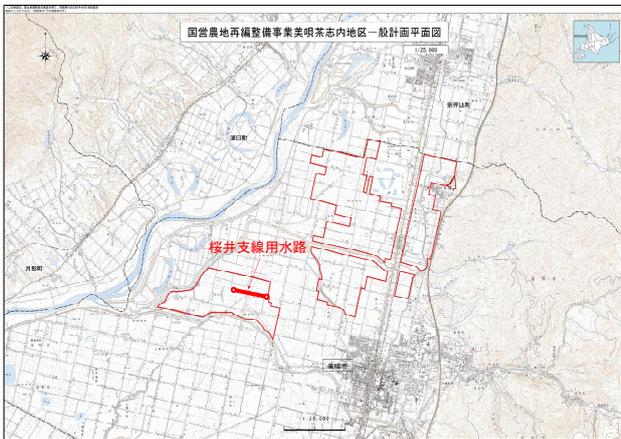


図-2 施設位置図

(3) 調査対象施設の設計・施工概要

a) 配管の概要

管継手の性能とコストを勘案し重点対策区間(NS形)と一般区間(ALW形)に区分し、配管計画を行った。このうち重点対策区間は、軟弱地盤に起因する施設変状、特に不同沈下が予想される道路横断部であることから一部に高性能継手であるNS形を採用した。

なお、管種の内訳としては、ALW形はL=330.8m、NS

形はL=303.9mの配管延長である。

b) 施工方法及び施工断面

当該路線では、地盤への追従性に優れた管種での配管としているが、不同沈下の抑制を目的として、掘削溝の縦断方向に沿って不同沈下抑制シート(引張強度6kN/m)を敷設した。一方、浮上対策としては、管路が浮上しないための最小必要土被りを算出し、埋設深さを設定している。

また、当該地盤条件のように特殊土壌腐食環境(泥炭地帯、腐植土や粘土質の土壌)にある場合、錆等の進行による管体腐食を防止する対策を行う必要があることから、当該路線では防食対策として水道事業でも採用されている、ポリエチレンスリーブ被覆を行っている。

なお、当地区の基礎材及び埋戻し材、盛土材は、管内で施工実績があり、経済的にも有利な現地発生土としている(図-3)。

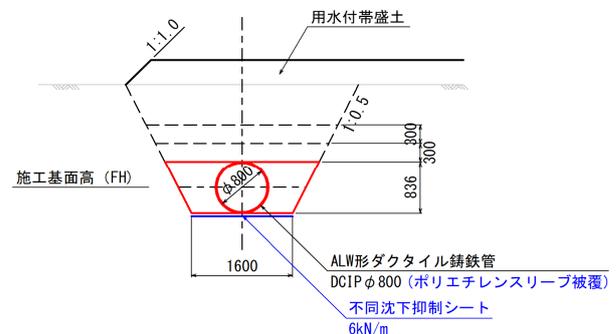


図-3 標準断面図(φ800)

4. 管挙動観測調査

(1) 観測調査の目的

泥炭性軟弱地盤での施工事例が少ないダクタイル鋳鉄管の新技术であるALW形及び耐震性や地盤追従性に優れた離脱防止機能機構を有するNS形を用いた農業用水管路における観測調査を実施し、管敷設後の通水による重量変化や経年的な泥炭の圧密沈下による継手の屈曲や沈下への追従性を確認し、当該施設の機能検証を行う。

(2) 調査項目

本調査は、道路横断後を起点としたNS形とALW形を併用した約48mの区間(重点:区間1)と、周辺田面の高さに追従して用水付帯盛土高さに約40cm差がある地点を含むALW形のみ直線部である約36mの区間(一般:区間2)を調査区間としている。

管の挙動観測方法は、対象管路内の継手に伸縮・屈曲量を測定するための変位計と管外面にひずみゲージを設置するとともに、沈下高さを測定するための立上げ管を設置する。また、地下水位の変動を計測する水位計と周辺地盤高さを測定するための平板と立上げ管を設置し、測定は計測作業員によるレベル測量と、データロガーによるインターバル計測を実施する。

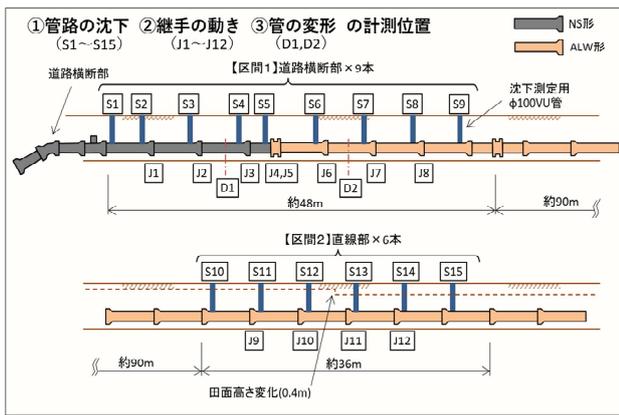


図-4 調査区間と計測位置 (①~③)

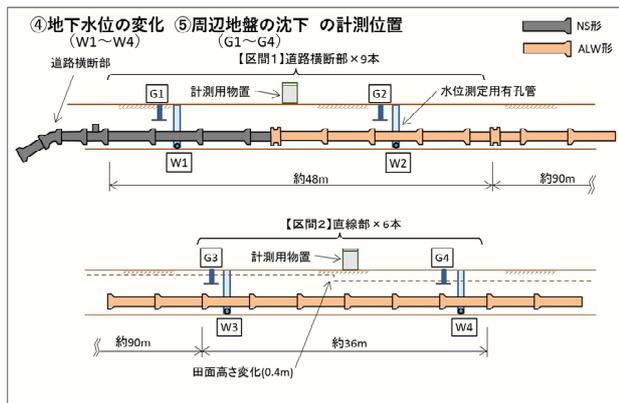


図-5 調査区間と計測位置 (④~⑤)

調査項目は、①管路の沈下 (S1~S15)、②継手の動き (J1~J12)、③管の変形 (D1, D2)、④地下水位の変化 (W1~W4)、⑤周辺地盤の沈下 (G1~G4) とし、各区間の管種配置及び調査計測位置は次のとおりである (図-4、図-5)。

(3) 調査期間

調査期間は、現時点で概ねの沈下収束までの期間として、3年間を想定しており、本稿ではダクタイル鋳鉄管を敷設 (区間1: 2022年10月7日、区間2: 2022年9月22日) し2022年11月15日に盛土を完了してから、盛土施工1年後の2023年11月9日までの調査結果を報告する (写真-1、写真-2)。

なお、桜井支線用水路における2023年の農業用水通水期間は2023年5月5日から2023年8月31日までとなっている。

5. 管挙動観測結果

(1) 管路の沈下

管頂部にVU管φ100を立ち上げ固定し、道路横断後を起点として連続した9本の管路 (S1~S9)、直線部の連続した6本の管路 (S10~S15) の高さの変化を測定することで、管路の沈下を観測した。



写真-1 盛土完了時 (2022年11月15日 区間1(左)、区間2(右))



写真-2 盛土1年後 (2023年11月9日 区間1(左)、区間2(右))

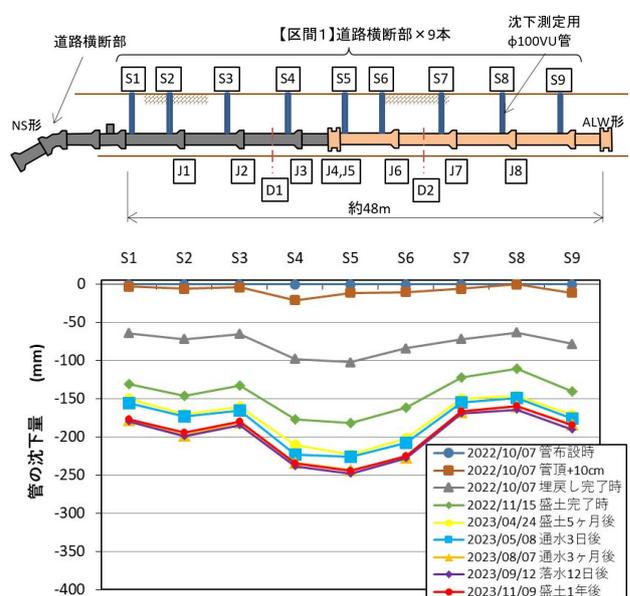


図-6 管路の沈下 (区間1)

a) 区間1 (道路横断後を起点とした約48mの区間)

沈下量の計測値は最大がS5地点で、盛土完了時となる管敷設後39日経過で182mm、盛土1年後では244mmの沈下量であった。そのうち、管が満水となり重量が最も増加する通水期間での沈下量は通水直前である盛土5か月後の223mmから21mm沈下していたものの、2023年8月からはほぼ沈下が進んでいないことから、ある程度沈下が収束してきているものと考えられる。一方、沈下量の最小はS8地点であり、最大のS5地点と比較すると差は84mmであった (図-6)。

b) 区間2 (直線部の約36mの区間)

沈下量の計測値はS10地点で最大を示し、盛土完了後で237mm、盛土1年後では383mmの沈下量であり、管体の沈下量が最小のS13地点と比較すると盛土1年後で249mmの差があった。区間2での最大最小の差が大きく

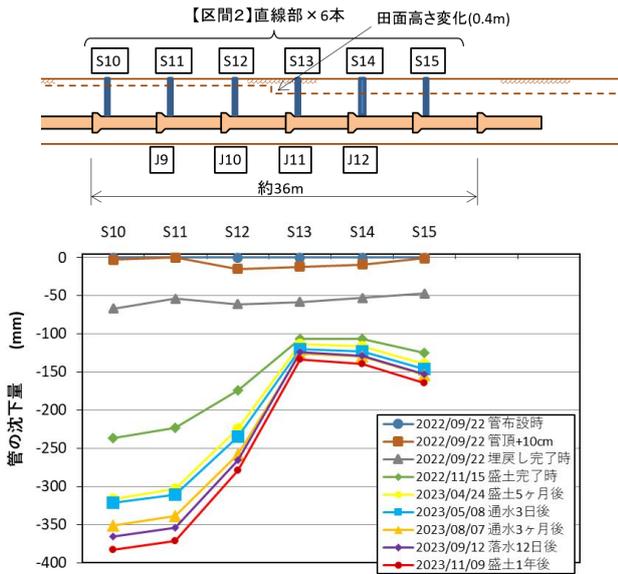


図-7 管路の沈下 (区間2)

なった理由としては、本区間は周辺田面の高さの変化に追従して用水付帯盛土高さに約40cmの差があることから、上載荷重となる用水付帯盛土高さが大きいS10～S12区間では沈下量が増加し、用水付帯盛土高さが低く上載荷重が小さいS13～S15区間は沈下量が少なくなったものと考えられる。(図-7)。

(2) 継手の動き

区間1の8本の継手 (J1～J8) と、区間2の4本の継手 (J9～J12) に変位計を取り付け、継手の上下左右位置の伸縮量を観測・計算し、管敷設時を基準 (0°) とした鉛直屈曲角度を求め、圧密沈下に伴う管路の挙動を確認した。

a) 区間1 (道路横断後を起点とした約48mの区間)

鉛直屈曲角度はJ2が最大で0.83°であり、NS形φ800の許容屈曲角度 (2° 10′) の38%程度となっている。上方向に凸となる屈曲はJ2、J7、J8、下方向に凸となる屈曲はJ1、J3、J4、J6であり、前節にて説明した管路の沈下傾向と合致している (図-8)。

b) 区間2 (直線部の約36mの区間)

鉛直屈曲角度はJ11が最大で1.54°であり、ALW形φ800の許容屈曲角度 (2° 30′) の62%程度となっている (図-9)。区間1と比較して屈曲角度が大きくなっている要因としては、区間2にある周辺田面高さに追従して用水付帯盛土が約40cm変化する位置がJ11付近であるため、管路の沈下に追従し、ここを変化点として管が屈曲したためと考えられる。

(3) 管の変形

観測区間のうち、NS形及びALW形の各1本ずつの管を対象とし、管外面・中央部の円周方向12点 (8等分点+16等分点) のひずみゲージを貼付し、管敷設時を基準

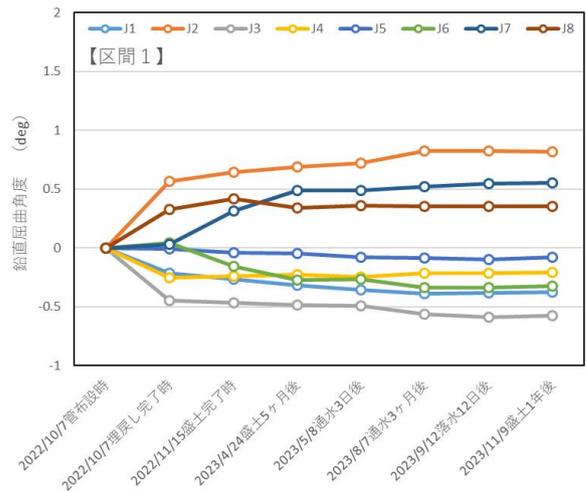


図-8 継手の動き (区間1)

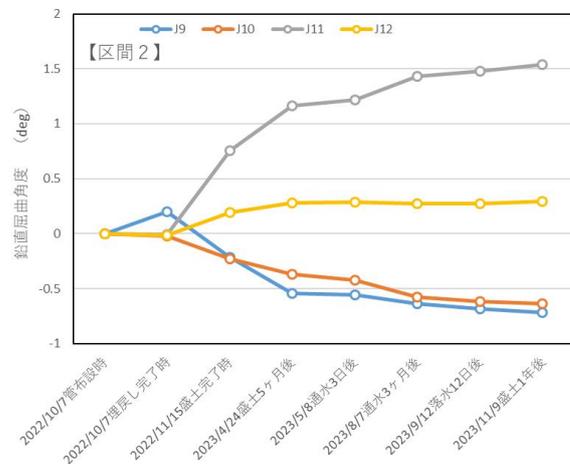


図-9 継手の動き (区間2)

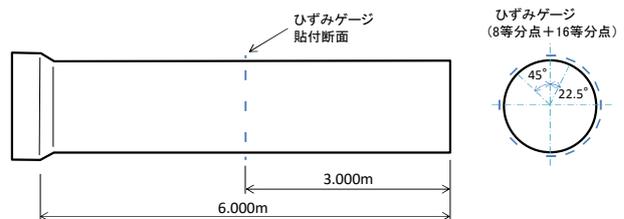


図-10 計測位置 (管の変形)

(0mm) とした管の断面方向のひずみ量変化を確認した (図-10)。

a) 計測結果 (盛土完了時～盛土完了4ヶ月)

NS形の最大ひずみは管頂部で生じており、盛土完了時の -56×10^6 から盛土完了4ヶ月後で -84×10^6 へ変化している。ALW形の最大ひずみも管頂部で生じており、盛土完了時の -145×10^6 から盛土完了4ヶ月後で -195×10^6 と変化している。両管種とも上下方向は縮む方向、左右方向は伸びる方向へ変形しており、ほぼ上下・左右対称に均等な変形を示した (図-11)。NS形よりALW形の管ひずみ量が大きいのNS形の規格管厚が12mmであるのに対し、管材料費の低減が図られているALW形の規格

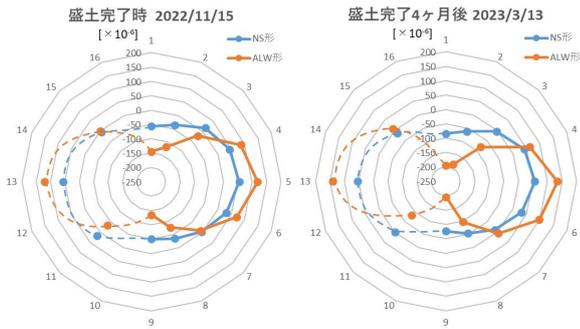


図-11 管の変形（盛土完了時、盛土完了4ヶ月後）

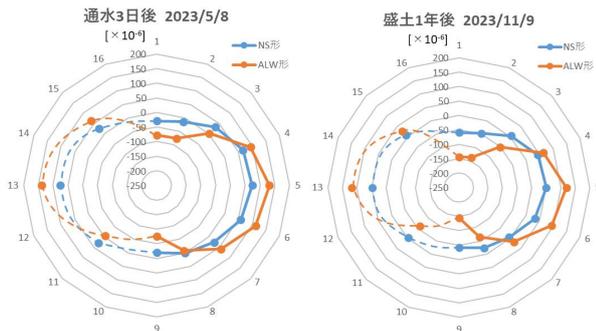


図-12 管の変形（通水3日後、盛土1年後）

管厚は7.5mmと、管厚がNS型に比べ薄くなっていることが要因と考えられる。

b) 計測結果（通水3日後～盛土1年後）

通水開始3日後となる5月8日のひずみは、NS形・ALW形ともに内水圧の影響により、たわみが復元する方向に変形しており、最大ひずみは管側部でNS形が 76×10^6 、ALW形が 138×10^6 であった。一方、8月末の落水を経た盛土1年後となる11月9日の最大ひずみはNS形が管頂部で -59×10^6 、ALW形が管底部で -145×10^6 と前項の盛土完了4ヶ月後のひずみを下回る変化となった（図-12）。

(4) 地下水位の変化

区間1と区間2の各2ヶ所ずつ計4ヶ所（W1～W4）に設置した水位測定用有孔管の中に水位計を吊り下げ、管底をゼロとした地下水位の時期的な変動の把握を行った。

盛土完了時から盛土4ヶ月後までは各地点で1.6m～1.7m程度の地下水位を示し、盛土5ヶ月後から盛土1年後までの期間では区間1（W1、W2）が1.7m～1.8m程度、区間2（W3、W4）が1.5m～1.6m程度となり、調査期間中の大きな変動は生じなかった（図-13）。

(5) 周辺地盤の沈下

泥炭性軟弱地盤に盛土を築造すると、周辺地盤の移動や隆起、盛土部の沈下に伴う共下がり現象を生ずる⁴⁾とされており、用水付帯盛土を施工している本調査管路の周辺地盤について挙動を確認するため、管路上の盛土を避けた平行測線上の位置に平板（GL-0.6m）と立上げ管を4ヶ所設置し、管敷設時をゼロとした地盤高さについ

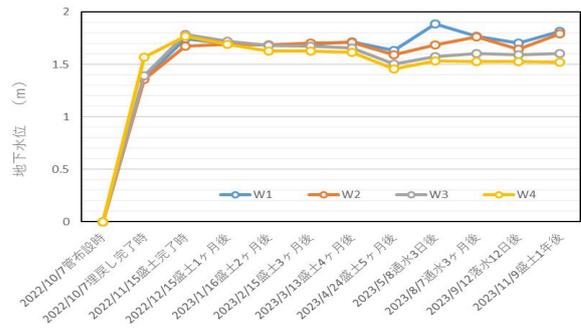


図-13 地下水位の変化

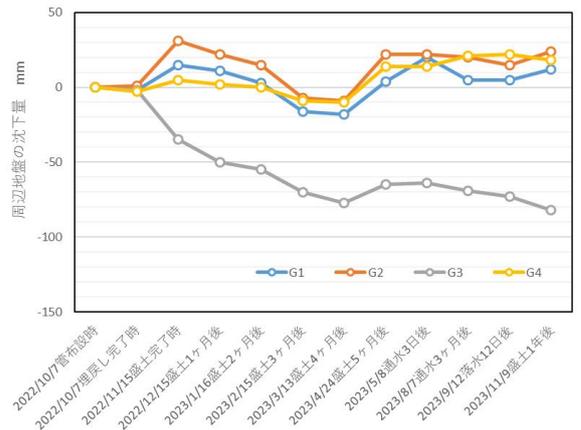


図-14 周辺地盤の沈下

てレベル測量を行い、沈下量を観測した。

G1、G2、G4の3ヶ所の地盤高さは+30mmから-20mmの間で推移し、期間を通しての沈下傾向も同様な動きを示した。一方、G3は観測開始から沈下を続けており、盛土1年後で-82mmと他の3ヶ所の観測結果とは異なる挙動を示した（図-14）。このG3地点は最も管路の沈下量が大きかったS10に近い位置であることから、管路及び泥炭土壌の沈下に影響を受けて周辺地盤の沈下が生じたものと推察される。

6. おわりに

泥炭性軟弱地盤にダクタイトル鉄管を敷設し、約1年間の観測を行った結果として、泥炭土壌の圧密沈下に起因する管の沈下や継手の屈曲が確認されたが、いずれも管路の通水機能に支障のない範囲のものであったことから、現時点では施工したダクタイトル鉄管は泥炭土壌の沈下に追従できているものと評価できる。一方、今回の調査で用水付帯盛土高さに差があり上載荷重が変化する箇所においては、泥炭の沈下量に差が生じ、管の屈曲角度が大きくなる状況が見られたことから、今後の挙動について経過観察を行う必要があると考える。

本調査区間では管敷設後約1年を経過し、泥炭の圧密沈下がおおよそ進んだものと推測されるものの、沈下は継続していることから、引き続き定期的な観測を行い、挙動の変化を確認しながら評価を進めていく。

最後に本稿の作成にあたり、ご協力をいただいた株式会社クボタの関係者各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

1) 農業土木学会：日本の特殊土壌（梅田安治）

- 2) 農業農村工学会：泥炭地における農業用パイプラインの沈下と漏水リスク管理（坂本克史、植屋賢祐）
- 3) 第65回北海道開発技術研究発表会：泥炭性軟弱地域等におけるパイプラインの更新技術に関する研究（南雲人、寺田健司、大久保天）
- 4) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル（平成29年3月）